

**В.Г. МАРТИНЕНКО, Г.І. ЛЬВОВ**, докт. техн. наук, професор

### **Дослідження напружено-деформованого стану трубопроводу в місці ремонтної накладки**

На даний момент природний газ є одним з найпоширеніших джерел тепла та енергії. Використання цього виду палива на виробництві, в опалюванні, а також в житлових будинках підвищує потребу в транспортуванні його на великі відстані. З цією метою по всьому світу будуються газопровідні магістралі – як транснаціональні, так і внутрішньодержавні. Основним матеріалом для газопроводів є сталь. Проте в процесі експлуатації цих комунікацій стикаються з рядом проблем, серед яких однією з найнебезпечніших є виникнення локальних дефектів трубопроводу, що з'являються внаслідок корозії металу, з якого виготовлений трубопровід. У такому разі через мікроскопічність розмірів ушкодження в порівнянні з розмірами усієї конструкції в місці його дислокації виникає концентрація напружень, яка, з урахуванням великих значень внутрішнього тиску, може призвести до тріщин, витоку газу і руйнування конструкції. В цьому випадку ситуація руйнування особливо небезпечна, оскільки ми маємо справу з легкозаймистою і вибухонебезпечною речовиною.

В якості методу боротьби із дефектами трубопроводів поширення набуло нанесення в місці ушкодження труби шару склопластику, який заповнює порожнини дефектів і зміцнює конструкцію [1]. Тому дослідження, присвячені вивченню особливостей поведінки таких конструкцій, є актуальними.

У роботі ставиться задача знаходження напружено-деформованого стану трубопроводу на ділянці дефекту з нанесеною на нього ремонтною накладкою в трьох постановках для виконання порівняльного аналізу з метою знаходження найбільш адекватної моделі, а саме: аналітично без дефекту у стінці трубопроводу за умови сумісного навантаження пружної ізотропної сталеві труби й пружної ортотропної ремонтної накладки [2] та чисельно в об'ємній постановці за допомогою методу скінченних елементів [3] без та з урахуванням в'язкопружних властивостей склопластику.

У ході вирішення аналітичної задачі було отримане рівняння Ляме для ортотропного матеріалу в полярній системі координат:

$$\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \frac{E_\theta}{E_r} \frac{u}{r^2} = 0, \quad (1)$$

де  $r$  – радіальна координата;  $u=u(r)$  – радіальні переміщення;  $E_r$ ,  $E_\theta$  – модулі пружності в радіальному та окружному напрямках.

Вирішення рівняння (1) має вигляд:  $u = A_1 r^{\sqrt{E_\theta/E_r}} + A_2 r^{-\sqrt{E_\theta/E_r}}$ , де  $A_1$ ,  $A_2$  – незалежні константи інтегрування. Враховуючи вирішення такого рівняння для випадку ізотропної поведінки матеріалу (тобто  $E_r = E_\theta$ ), а також граничні умови та умови спряженості, була побудована система лінійних алгебраїчних рівнянь для невідомих коефіцієнтів інтегрування, що дало можливість отримати

результати для радіальних переміщень та радіальних напружень у конструкції, що складається з внутрішнього ізотропного та зовнішнього ортотропного циліндрів. Такі результати наведені на рис. 1а.

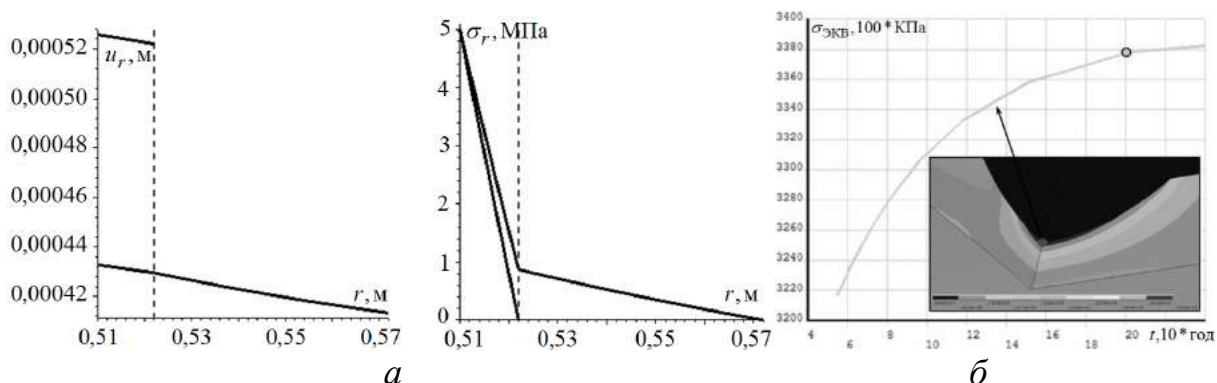


Рис. 1 – Результати розрахунків: *а* – для аналітичної моделі (залежність радіальних переміщень і радіальних напружень від радіальної координати); *б* – для чисельної моделі (залежність максимальних еквівалентних напружень у небезпечній точці від часу)

При розгляді в'язкопружної поведінки склопластику реологічна модель його фізичних властивостей була обрана у вигляді моделі Кельвіна.

При цьому фізичні співвідношення записувались наступним чином [4]:

$$\hat{\sigma} = \int_0^t 2G(t-\tau) \frac{d\hat{\epsilon}}{d\tau} d\tau + \hat{I} \int_0^t K(t-\tau) \frac{d\Delta}{d\tau} d\tau \quad (2)$$

Графік залежності від часу максимальних еквівалентних за Мізесом напружень за таких умов набув вигляду, представленого на рис. 1б.

У ході досліджень було встановлено, що розходження результатів розрахунків між одновимірною та об'ємною моделями становить менше 2%, що свідчить про можливість та необхідність використання об'ємної моделі, тому що вона дозволяє враховувати дефект. Також визначено, що бандажування знижує перепад між радіальними напруженнями за відсутності дефекту та значно зменшує рівень максимальних еквівалентних за Мізесом напружень у місці дефекту як у випадку пружної, так і у випадку в'язкопружної поведінки склопластику. Це свідчить про доцільність використання такого способу ремонту трубопроводів за умови виникнення в них одиничних локальних дефектів. Водночас врахування в'язкопружних властивостей склопластику збільшує максимальні еквівалентні за Мізесом напруження, що говорить про необхідність їх розгляду.

#### Список літератури:

1. Мустафин Ф.М. Защита трубопроводов от коррозии / Ф.М. Мустафин, Л.И. Быков // –М.: Недра., 2007. –Т. 2. –708 с.
2. Самуль В.И. Основы теории упругости и пластичности / В.И. Самуль // –М.: Высш. школа, 1982. –264 с.
3. Зенкевич О.С. Метод конечных элементов в технике / О.С. Зенкевич // –М.: Мир, 1975. –543 с.
4. Москвитин В.В. Соппротивление вязкоупругих материалов применительно к зарядам ракетных двигателей на твердом топливе / В.В. Москвитин // –М.: Наука, 1972. –327 с.